T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI TUZ ŞİDDETİNDEKİ TOPRAKLARDA ORGANİK MADDE MİNERALİZASYONU VE ORGANİK MADDE STOK İLİŞKİSİ

Muhammed KOYUNÇU

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Toprak Tuzluluğu 5
2.2. Toprak Organik Karbonu (TOK) 7
2.3. Sera Gazı Emisyonu (CO_2) 9
2.4. Toprakta Mikrobiyal Aktivite 12
3.MATERYAL ve YÖNTEM 15
3.1. Araştırma Materyali 15
3.2. Denemenin Kurulduğu Yer 16
3.3. Çalışma Alanı İklimi 16
3.4. Çalışma Alanı Jeolojik Özellikleri 17
3.5. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri 17
3.5. Yöntem 18
3.5.1 Deneme metodu ve uygulama 18
3.5.2. Toprak analizleri 19
3.5.2.1. Fiziksel ve kimyasal analizler 19
3.5.2.2. Biyolojik analizler 20
3.5.3. İstatistiksel Değerlendirme 21
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 22
DHA: Dehidrogenaz enzim aktivitesi 22
4.1. Araştırma Topraklarının Fiziksel ve Kimyasal özellikleri 22
4.2. Araştırma Topraklarının Biyolojik Özellikleri 25
4.3. Araştırma topraklarının Organik Karbon Stok Tahmini 30
4.4. Araştırma Topraklarının CO_2 Emisyon Değerleri 32
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 34
5.1. Sonuçlar 34
5.2. Öneriler 35
KAYNAKLAR 36

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI TUZ ŞİDDETİNDEKİ TOPRAKLARDA ORGANİK MADDE MİNERALİZASYONU VE ORGANİK MADDE STOK İLİŞKİSİ

Muhammed Koyunçu

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Ali ÇULLU
YIL: 2022, Sayfa:41

Toprak tuzluluğu ve alkaliliği, dünya genelinde yaklaşık 932 milyon hektarlık bir alanı etkilerken, Türkiye topraklarında yaklaşık 1,5 milyon hektar etkilenmektedir. Tuzlu ve sodik alanlar, toprak kimyasını, karbon ve besin döngüsünü ve organik madde ayrışmasını etkileyebilecek farklı süreçleri içermektedir. Toprakta bulunan organik karbon miktarı (TOK), yeryüzünde bulunan karbon kaynağının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Toprak organik karbon miktarı toprak sağlığının önemli bir göstergesidir. Tuzlu ve sodik topraklar, toprak mikrobiyal biyokütlesini ve mikrobiyal aktivitesini etkilemekte ve CO_2 çıkışlarının seviyesini etkilemektedir. Sodik topraklar, agregaların dağılmasını artırarak toprak organik karbon kaybını oluşturmakta, bu da toprak organik karbon mineralizasyonuna neden olmaktadır. Türkiye'de bulunan farklı özellikteki tuzlu toprakların karbon stoğu ve emisyonunu normal topraklara göre farklılık göstermektedir. Özellikle alkali (sodik) ve tuzlu-alkali topraklarda bitki gelişimi sınırlı olduğundan normal topraklara göre karbon stoğu, mikrobiyal aktivitesi ve dolayısıyla CO_2 çıkışları da farklı olmaktadır. Küresel ısınmanın başlıca sorumlusu olan CO_2 gazı olması nedeniyle, tuzluluktan etkilenen topraklardaki karbon stoğu ve CO_2 çıkışı mekanizmasının anlaşılması önem kazanmaktadır. Araştırmada Harran Ovası'nda bulunan Tuzlu-Alkali alanlardan alınan topraklardaki organik madde mineralizasyon hızı ve karbon stoğu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Toprakların biyolojik özelliklerini belirlemek amacıyla; dehidrogenaz ve katalaz enzim aktiviteleri, kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla; kireç (%), organik madde (%), pH, EC, fiziksel özellik olarak hacim ağırlığı, kil, silt, ve kum (%)'leri belirlenmiştir. Harran Ovası'ndan alınan tuzsuz, tuzlu ve tuzlu- alkali toprak olmak üzere toplamda 3 farklı tuz şiddetindeki toprak örneği organik karbon stoğu ton/ha olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre 0-20 cm derinlik olarak TOK stoğu tuzsuz>tuzlu>tuzlu-alkali olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Tuzlu-Alkali Toprak, Organik Madde Stoğu, Harran Ovası, Küresel Isınma

ABSTRACT

MSc Thesis

RELATIONSHIP OF ORGANIC MATTER STOCK AND ORGANIC MATTER MINERALIZATION AT THE DIFFERENT SALT-AFFECTED SOILS

Muhammed Koyunçu

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. M. Ali ÇULLU
Year: 2022, Page:41

Soil salinity and sodcity are affected of 932 million hectares worldwide, while approximately 1.5 million hectares affects for Türkiye. Salt affected and sodic areas contain different options to complement soil chemistry, carbon and supply, and organic matter decomposition. soil organic carbon (SOC) pool is the largest terrestrial carbon pool. It is a measure of soil organic carbon level. Salines and sodics affect soil microbial biomass and microbial and on the journey of CO2 outputs. Sodic soils increase the dispersion of aggregates, producing soil organic carbon, which causes soil organic carbon mineralization. The carbon stock and emission of saline soils with different characteristics in Turkey compared to normal soils. In general, carbonbial activity and CO2 output are also different in general (alkaline) and saline soils on the surface in general compared to normal soils in general. Due to the CO2 value, which is the most effective globally, its stock in the soils and CO2 representation from salinity are exemplary. In the research, the relationship between the organic matter mineralization rate and carbon stock in the soils taken from the Saline-Alkaline areas in the Harran Plain was investigated. In order to determine the biological properties of soils; dehydrogenase and catalase enzyme activities, in order to determine their chemical properties; lime (%), organic matter (%), pH, EC, volume weight as physical properties, clay, silt, and sand (%) were determined. The organic carbon stock of the soil samples taken from the Harran Plain was found to be tons/ha in 3 different salt intensity soil samples, including unsalted, salty and salty-alkaline soil. According to the results of the study, SOC stock was determined as unsalted>salty>saline-alkaline at a depth of 0-20 cm.

KEYWORDS: Saline-Alkaline Soil, Organic Matter Stock, Harran Plain, Global Warming

TEŞEKKÜR

Çalışma konusunun temellerini atma hususunda fikirleriyle ufkumu açan, çalışma boyunca emek ve yönlendirmeleriyle beni çalışmaya teşvik eden yol gösterici tez danışmanım, çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet Ali ÇULLU' ya ve Doç. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM'a şükranlarımı ve minnettarlığımı sunuyorum. Çalışmamın arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını aldığım Doktora öğrencileri Veysel GÖKMEN'e ve Emrah RAMA'ANOĞLU'na, Zir. Yük. Müh. Medine GÖKMEN'e, Zir. Yük. Müh. Ahmet AYDOĞDU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Öğrenim hayatım boyunca beni her zaman destekleyen canım ailem Şöhret KOYUNÇU, Abdulkerim KOYUNÇU, Serap ZEREN, Zekeriya KOYUNÇU ve Yunus Emre KOYUNÇU' ya göstermiş oldukları sabır ve müsamaha için gönülden şükranlarımı sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1.Çalışma alanının konumu ve örnekleme yerleri 16
Şekil 3.2. İnkübasyon sistemi……19
Şekil 4.1. Toprakların kireç içerikleri 24
Şekil 4.2. Toprak organik maddesi 24
Şekil 4.3. Dehidrogenaz enzim aktivitesi 25
Şekil 4.4. Katalaz enzim aktivitesi 26
Şekil4.5. İnkübasyon denemesi süresince tuzsuz toprak, tuzlu toprak ve tuzlu-alkali toprak örneklerinden meydana gelen kümülatif CO_2 emisyonları (n = 3)…….33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Deneme Metodu 18
Çizelge 4.1. Farklı tuzluluk değerindeki üç toprakta yapılan bazı analiz sonuçları……...22
Çizelge 4.2. Toprakların Elektriksel İletkenlik Dağılımı 23
Çizelge 4.3. Toprakların Elektriksel İletkenlik (Ec) Ve % Tuz Değerlerine Göre Tuzluluk Dereceleri (Richards, 1954) 23
Çizelge 4.4. Tüm Parametrelerin Pearson Korelasyon Katsayıları 28
Çizelge 4.5. Tok Stoğu Değerleri 30

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CE	CO2 emisyonu
Ha	Hektar
OP	Ozmotik potansiyel
TIK	Toprak inorganik karbon
TOK	Toprak organik karbon
TOM	Toprak organik maddesi
TPF	Trifenilformazon

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki genişleme, her geçen gün artan gıda talebi yeni tarım alanlarına ve doğal kaynaklara yönelik ihityacı artmaktadır. Bu anlamda tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliği ile ilgili endişeler ortaya çıkmıştır (Tubiello ve ark., 2015). Toprak kullanımı ve yönetimindeki değişiklikler, başta karbondioksit (CO2) olmak üzere sera gazı emisyonlarının büyüklüğünü etkileyerek, özelliklerinde önemli değişikliklere neden olur (de Figueiredo ve la Scala Jr, 2011). Atmosferde bulunan CO2 miktarının artması ve iklim değişikliğiyle ilgili bilinen sonuçlara ek olarak, CO2 emisyonuyla atmosfere salınan karbon miktarı toprak için büyük bir sorun teşkil etmektedir (Moitinho-Ferraudo ve ark., 2021). Bu nedenle, toprakların karbon stoğunun belirlenmesine yönelik yöntem ve uygulamaları son derece kritiktir (Poeplau, 2019).

Toprak atmosterdeki CO_2 'nin en önemli kaynaklardan biridir. Aynı zamanda başlıca karbon stoğu görevi görmektedir. Toprakta CO_2 üretimini ve emisyonunu etkileyen mikrobiyal aktivite ve kök solunumunun yanı sıra toprak tekstürü, nemi, pH ve tuzluluk gibi faktörler vardır. Bunun yanında, mevsimsel etki ve atmosfer basıncı gibi dış faktörler ve toprağın çevresel koşullarını etkileyen sulama, işleme, gübreleme gibi amenajman uygulamaları C emisyonunu etkiler. Toprakta karbonu tutma ile yapılan ölçümlerin adaptasyonu atmosferik CO_2 seviyesindeki artışı önemli ölçüde azaltabilir (Rastogi ve ark., 2002a).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından toprak koruma ile ilgili ana yönlerden biri olarak listelendiği için karbon kaybı, topraklara yönelik ana tehditlerden biridir. Küresel Toprak Ortaklığı (FAO-ITPS, 2015) toprakların tuzlanması ve alkalileşmesini erozyon, toprak organik karbonu kaybı, toprağın sıkışması, toprak besin dengesinin bozulması, asitleşme, biyoçeşitlilik kaybı, kirlenme ve suyla aşırı doygunlukla beraber topraklara yönelik 10 tehdit arasına almıştır. Topraktaki organik karbonun azalması toprak yapısını, su ve besin maddelerini tutma kapasitesini etkiler ve bundan dolayı toprağın sıkılaşmasına sebep olur. IPCC raporuna

göre toprak organik karbonun artışının iklim değişikliği ve arazi kullanımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde, toprak bozulmasını engellemek, gıda güvenliğini sağlamak, iklim değişikliğini hafifletmek ve çölleşme ile mücadele etmenin ekonomik olarak en uygun seçeneklerden biri olarak kabul edilmektedir (Mbow ve ark.., 2017). Araştırmacılar, mevcut karbon stoklarını korumanın ve sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları yoluyla tecrit potansiyelini arttırmak aynı zamanda küresel emisyonların bir kısmını dengelemek ve eşzamanlı olarak çeşitli çevresel faydalar sağlamak, toprak kalitesini artırmak ve dolayısıyla net birincil üretkenliği azaltmak için en iyi strateji olduğunu savunuyorlar (Moitinho, Teixeira, ve ark., 2021a).

Topraktaki karbon içeriğinin temelini toprakta bulunan organik karbon (TOK) ve inorganik karbon (TİK) oluşturmaktadır. Nemli alanlarda toprakta bulunan karbon genellikle organik formda bulunmasına rağmen, Sıcaklığın arttığı alanlarda yani kurak ve yarı kurak alanlarda karbon içeriğinin genellikle inorganik formda olduğu görülmüştür (Bradford ve ark., 2008; Shaoxuan ve ark., 2016).. Dünyadaki Organik karbon içeriğinin (TOK) 1,4–1,5x10^{18} g C kadar yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktar karasal karbonun yaklaşık olarak 2,4 katına, atmosferde bulunan karbon miktarının ise yaklaşık olarak 4 katı kadardır. Toprak karbon miktarının %0,1'lik azalması ile atmosferik bulunan karbondioksit miktarının 1 mg m^{-3} artacağı ve bununda küresel iklim değişikliği üzerinde önemli bir etki gösterecektir (Qu ve ark., 2022a).

Toprak tuzlanması, topraklarda tarımsal verimliliği, çevre sağlığını ve ekonomik refahı olumsuz yönde etkileyecek düzeyde tuz birikmesi için kullanılan bir terimdir (Rengasamy, 2006). Genel olarak, doygun halde olan bir toprak doygunluk çamurunda ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değeri 4 dS/m^{-1}'den yüksekse bu toprak tuzlu olarak tanımlanır (Rath ve Rousk, 2015). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), küresel olarak 830 milyon hektardan fazla ekilebilir alanın tuzlanmadan etkilendiğini tahmin etmektedir. Bu düzey dünyanın ekilebilir arazisinin yaklaşık %10'una karşılık gelir (Szabolcs, 1989). Tuzluluk sorunu Türkiye'nin tarım ve tarım dışı sektörlerinin büyük bir bölümünü etkilemektedir. İl toprak kaynakları envanterine göre Türkiye'nin

12,5 milyon hektarlık sulamaya uygun arazisinin yaklaşık 1,5 milyon hektarında tuzluluk ve alkalilik sorunu, 2,8 milyon hektarında ise drenaj sorunu bulunmaktadır. (Çullu ve ark., 2015).

Tuzlanma toprakta olumsuz fiziksel değişikliklere yol açar. Yüksek tuz konsantrasyonları, toprak organik maddesinin (TOM) çözünürlüğünü etkileyen toprak partiküllerinin topaklaşmasına veya dağılmasına neden olur (Wong ve ark., 2009, 2010). Ayrıca toprakta bulunan tuzun türü de TOM çözünürlüğünün belirlenmesinde rol oynar. Kalsiyum (Ca^{+2}) gibi toprak çözeltisinde bulunan çok değerlikli katyonlar, organik bileşikleri ve negatif yüklü olan kil partiküllerini birbirine bağlarlar. Böylece çok değerlikli katyonların varlığı, organik maddenin toprak parçacıklarına emilimini artırabilir (Mavi ve ark., 2012; Mikutta ve ark., 2007) ve böylece ayrışma için mevcut organik madde miktarını azaltır. Sodyum (Na^{+}) gibi tek değerlikli olan katyonlar çok daha zayıf bağlar oluştururlar. Sodik topraklar, Na^{+} konsantrasyonu yüksek olan topraklar denir. Sodyum absorpsiyon oranı (SAR)> 13 olan topraklar normal olarak sodik olarak kabul edilir. Sodik bir toprağın ayrıca elektrik iletkenliği >4 dS m^{-1} ise, tuzlu-sodik olarak sınıflandırılır (Rath ve Rousk, 2015). Sodik topraklarda organik bileşiklerin katı faza (toprak matrisine) emilimi azalır (Setia ve ark., 2013). Değişim bölgelerinin yüksek bir kısmı tek değerlikli katyonlar tarafından işgal edilirse, mineral yüzeyler organik moleküller ile organik moleküller arasındaki çapraz bağlanma azalır. Topraklar erozyona ve sızıntıya daha yatkın hale gelir ve organik madde ayrışmaya karşı daha az korunur (Wong ve ark., 2010). Toprak partiküllerinin dağılması, toprak mikrobiyal aktivitesi için sonuçlar ile birlikte oksijenin kullanılabilirliğini de etkileyebilir (Bronick ve Lal, 2005; Rath ve Rousk, 2015).

Toprak, büyük bir mikroorganizma konsantrasyonunun yaşam alanıdır. Tahminlere göre, 1 g toprak kilometrelerce mantar hifi ve on milyara yakın bakteri içerir. Mikroorganizmalar, tüm besin döngülerinin ve özellikle TOM' un ayrışması için temel itici güçlerdir, böylece bitki besinlerini yeniden oluştururlar (Rath ve Rousk, 2015).

Toprak enzim aktiviteleri toprak özellikleri, toprak tipleri ve çevre koşulları ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle toprak enzim aktiviteleri toprak kalitesi ve toprak biyolojik aktivitelerinin önemli göstergeleri olarak kullanılmaktadır (Rietz ve Haynes, 2003; Yuan ve ark., 2007). Bu nedenle, toprak enzim aktivitelerini etkileyen faktörlerin incelenmesi önemlidir (Dick ve Burns, 2011). Dehidrojenaz aktivitesi, topraklardaki oksidatif metabolizmanın ve dolayısıyla mikrobiyal aktivitenin bir göstergesi olarak kabul edilir (Salazar ve ark., 2011). Üreaz enzim aktivitesi yüksek tuzluluk ve alkaliliğe duyarlıdır. Bu, üreaz enzim aktivitesinin toprağın bir kalite göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir (H.-S. Zhang ve ark., 2014). Katalaz enzim aktivitesi, metabolizma sırasında üretilen peroksitin ayrıştırarak organizmalar üzerindeki toksik etki göstermesini önleyebilir. Bu enzim aktiviteleri topraktaki karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) döngüsünde önemli bir rol oynar. Ayrıca topraktaki çeşitli biyokimyasal reaksiyonlarda doğrudan yer alarak toprakta çok sayıda biyokimyasal süreçlere katılırlar (Guangming ve ark., 2017a).

Türkiye'de bulunan farklı özellikteki tuzlu toprakların karbon stoğu ve emisyonun normal topraklara göre farklılık göstermektedir. Özellikle alkali (sodik) ve tuzlu-alkali topraklarda bitki gelişimi sınırlı olduğundan normal topraklara göre karbon stoğu, mikrobiyal aktivitesi ve dolayısıyla CO2 çıkışları da farklı olmaktadır. Küresel ısınmada en çok etkili olan CO2 gazı olması nedeniyle, tuzluluktan etkilenen topraklardaki karbon stoğu ve mineralizasyon hızı mekanizmasının anlaşılması önem kazanmaktadır.

Bundan dolayı bu araştırmada Şanlıurfa ili Harran Ovası'nda bulunan Tuzlu ve Tuzlu-Alkali alanlardan alınan topraklardaki, karbon stoğu ve bazı toprak fiziko-kimyasal ve biyolojik toprak karakteristikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu veriler Türkiye'nin bazı bölgelerinde etkili olan tuzlu topraklardaki organik madde mineralizasyon hızı ve karbon stoğu ilişkisine ışık tutacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toprak Tuzluluğu

Toprak tuzlanması, toprakta aşırı miktarda çözünür tuz birikmesiyle sonuçlanan bir arazi bozunum sürecidir. Toprak tuzlanması iklim değişikliği ile çevresel ve sosyoekonomik bakımından çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Toprak tuzlanması, yarı kurak ekosistemlerde tarım için en büyük kısıtlamalardan biridir ve etkilenen alanların her yıl yayılmasıyla küresel ölçekte gıda güvenliğini tehdit etmektedir. 2050 yılına kadar ekilebilir alanların %50'sine ulaşacağı tahmin edilmektedir. İklim değişikliğinin doğal olarak meydana gelen toprak tuzlanmasının dinamiklerini nasıl etkilediğinin belirlenmesi, tuzlanmayı etkileyen oldukça karmaşık süreçler nedeniyle nadiren ele alınmaktadır (Hassani ve ark., 2021).

Tuzluluk miktarının artması ile topraktaki bitkisel gelişimi azalttığı, toprağa organik madde girişinin azalmasına ve toprak strüktürü ve geçirgenliğinin bozulmasına neden olmaktadır. Toprakta yüksek miktarda tuzluluk koşullarında toprakta organik maddenin dispersiyonu artırarak ayrıştırmaya neden olmakta ve ayrışan organik madde yıkandığı gibi aynı zamanda mikroorganizmalar tarafında da tüketilmektedir (Wong ve ark., 2009). Bundan dolayı tuzlu-alkali topraklarda bitki gelişimi iyi olmadığından ve bitki artıkları az olduğunda organik madde miktarları da düşük olmaktadır (Coleman ve ark., 1997; Setia ve ark., 2013)).

Toprakta tuzluluk ve alkalilikte alansal boyutlarının artacağı tahmin edildiğinden, toprak karbon (C) stokları ve akışları üzerindeki etkilerinin anlaşılması, çevre yönetiminde kritik öneme sahiptir (Wong ve ark., 2008a).

Tuzluluk ve sodikliğin toprak mikrobiyal biyokütlesi (TMB) ve toprak solunumu üzerindeki etkilerini incelemek için, bitkili bir toprak profilinden bozulmuş toprak örnekleri alınarak altı farklı tuz şiddeti içeren tuz çözeltilerinden süzülmeye tabi tutularak kontrollü koşullar altında 12 hafta süresince inceleme yapılarak, düşük

tuzluluk (0.5dSm $^{-1}$), orta tuzluluk (10dSm $^{-1}$) ve yüksek tuzluluk (30dSm $^{-1}$) ve düşük sodyumlu (sodyum adsorpsiyon oranı, SAR, 1) veya yüksek sodyumlu (SAR 30) ile: kontrol; düşük tuzluluk yüksek sodisite; orta tuzluluk düşük sodisite; orta tuzluluk yüksek sodisite; yüksek tuzluluk düşük sodisite; ve yüksek tuzluluk yüksek sodisitesi uygulaması sonucunda düşük tuzluluk uygulamalarında toprak solunum hızı en yüksek (56-80mg CO2 -C kg $^{-1}$ toprak) ve orta tuzluluk uygulamalarında en düşük (1-5mg CO2- C kg $^{-1}$ toprak) iken, TMB yüksek tuzluluk uygulamalarında en yüksek (459–565mg kg^{-1} toprak) ve düşük tuzluluk uygulamalarında en düşük (158-172mg kg^{-1})olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, toprak solunumu ile ölçülen en yüksek mikrobiyal aktivite seviyeleri kontrol ve düşük tuzluluk uygulamalarında bulunurken, en yüksek TMB seviyeleri yüksek tuzluluk uygulamalarında bulunmuştur (Wong ve ark., 2008b).

Jips ($CaSO_4.2H_2O$) ve saman ilavesi tuzlu-alkali toprakları iyileştirmek için yaygın bir uygulama olarak bilinmektedir fakat tuzlu alkali topraklardaki saman ilavesinin CO_2 üzerindeki etkisi çok az araştırma yapılmıştır (Wang ve ark., 2018).

Yapılan bir çalışmaya göre Yanqi Havzası'nın tuzlu-alkali toprağında iki yıldan daha uzun zamanda dört uygulamayı içeren bir kuluçka deneyi yürütülmüştür: kontrol, alçı ilavesi (Ca), buğday samanı ilavesi (S) ve alçı-buğday samanı kombinasyonu (Ca+S). 15, 30, 45 ve 60 cm'de toprak CO_2 konsantrasyonunu, sıcaklığını ve nemini sürekli olarak ölçümler yapılmıştır. Dört işlemin tamamında toprak CO2'sinde genel olarak toprak sıcaklığı ve nemindekilere benzer olması mevsimsel olarak değerlendirilmiştir ve saman ilavesi, toprak CO_2 'de önemli bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Yaz aylarında 0-60 cm'nin üzerinde iken 2014'te sonbahar ve kış aylarında sadece jips ilavesiyle toprak CO_2 'sinde önemli bir artış olurken, alçı ve saman ilavesiyle (yalnızca saman ilavesine göre) toprak CO_2 'si önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Organik madde ve alçıtaşının farklı değişikliklerinin, kurak bölgenin tuzlu-alkali topraklarındaki karbon döngüsü için çıkarımlar ile biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçlerin çeşitli tepkilerine ve etkileşimlerine yol açabileceğini belirtilmiştir (Wang ve ark., 2018).

2.2. Toprak Organik Karbonu (TOK)

Toprak organik maddesinde depolanan karbon miktarıdır. Toplu olarak tuzdan etkilenen topraklar olarak adlandırılan toprak tuzluluğu (yüksek düzeyde suda çözünür tuz) ve sodisite (yüksek düzeyde değiştirilebilir sodyum), dünya çapında yaklaşık 932 milyon hektarlık araziyi etkilemektedir. Toprak organik karbon (TOK) havuzu bitki örtüsünden gelen girdilere bağlı olduğundan, tuzluluk ve sodisitenin bitki sağlığı üzerindeki etkileri, tuzdan etkilenen bölgelerdeki TOK stoklarını olumsuz yönde etkiler ve genellikle daha az TOK'a yol açar. Tuzlu ve sodyumlu topraklar, toprağın mikrobiyal biyokütlesini ve mikrobiyal aktivitesini etkileyen, CO2 akışlarını değiştiren ve besin maddelerinin bitki örtüsüne doğasını ve dağıtımını etkileyen bir dizi karşıt işleme tabi tutulur. Tuz koşulları, toprak organik maddesinin ayrışmasını artırabilir, ancak aynı zamanda yüksek konsantrasyonlarda çözünür tuzların bir sonucu olarak agregaların flokülasyonu nedeniyle organik maddenin substratlara erişimini kısıtlayabilir. Tuzlu ve sodyumlu topraklar genellikle karbonat içerir, bu da karbon (C) dinamiklerini zorlaştırır (Wong ve ark., 2010).

Toprak organik karbon stoğunu etkileyen faktörler;

a) Tuzlulaşma nedeniyle, bitki materyalinin toprağa erişimi azalır, bu da düşük organik karbon girdisi ile sonuçlanır,
b) Toprak tuzlanması nedeniyle topraktaki organik karbon parçalanma hızı yavaşlarsa, bu topraktaki karbonda bir artışa neden olabilir (P. Smith ve ark., 1997).

Toprak organik karbon (TOK) modelleri, topraklardan kaynaklanan karbondioksit (CO2) emisyonundaki değişiklikleri tahmininde kullanılır ve tuzsuz topraklar için onaylanmıştır. Ancak, tuzlu topraklarda TOK toplamını simüle etmek için TOK modelleri geliştirilmemiştir. Dünyada çok fazla tuzdan etkilenen alan olması nedeniyle, tuzdan etkilenen topraklarda toprak organik karbon (TOK) dinamiklerini doğru şekilde tahmin etmek önemlidir (Setia ve ark., 2012).

Yapılan bir araştırmaya göre toprak tuzluluğunun toprak solunumu ve azot dönüşümü üzerindeki etkisini belirlemek için BaPS (barometrik proses ayrımı) ve iç inkübasyon deneyleri tesisi kullanılmıştır. Toprak solunum oranları, brüt nitrifikasyon, denitrifikasyon, amonyum ve nitrat azot konsantrasyonları ve ilgili toprak parametreleri ölçülmüş. Toprak solunumu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranlarının tümü toprak tuzluluğundan etkilendiği belirtilmiştir. Toprak tuzluluk seviyesinin nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranları üzerindeki etkisi bir eşik değerine sahipti (EC1:5 = 1.13 dS/m). Toprak tuzluluk seviyesi bu eşik değerin altına düştüğünde, nitrifikasyon ve denitrifikasyon toprak tuzluluğu tarafından teşvik edilirken, toprak tuzluluk seviyesi eşik değerden büyük olduğunda azalmıştır. Ayrıca, toprak tuzluluğu ile değişen toprak solunum hızı kanunu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranları ile benzer iken, varyasyon eğilimi zıttı olduğu belirtilmiştir (Zeng ve ark., 2013).

Yapılan çalışmada 0.30 m'ye kadar olan toprak karbon stokları da tuzluluk ve sodiklikten etkilenen bitki ötüşü olmayan ve bitki örtüsüz-aşınmış topraklarda çok daha düşük. Yerli mera ile bitkilendirilmiş profillerin karbon stokları 0,30 m 35.2-53.5 t/ha iken, ekilen mera 42.1 t/ha'ya olduğu belirtilmiştir. Bu, 19,8 t/ha ile bitki örtüsüz profiller ve 7,7–11,4 t/ha ila 0,30 m ile bitki örtüsüz-aşınmış profillerle karşılaştırılır. Bitki örtüsünün varlığı, çeşitli toprak özelliklerini iyileştirir ve yüzeyde ve derinlikte, bitkisiz ve bitkilendirilmiş profiller arasında TOK ve diğer toprak özelliklerinde farklılıklara neden olur ve yanmış veya bitki örtüsüz-aşınmış olan profillerde daha düşüktür. Bu düşük TOK seviyeleri, yanmış ve bitki örtüsüz-aşınmış toprakların profilleri boyunca aynıdır. 0.30 m toprak derinliğine kadar olan toprak karbon stokları tuzluluk ve sodiklikten etkilenenmiş bitkisiz-aşınmış ve bitki örtüsüz topraklarda çok daha düşüktür. Yerli mera ile bitkilendirilmiş profillerin karbon stokları 0,30 m 35.2-53.5 t/ha iken, ekilen mera 42.1 t/ha bulunmuştur. Bu, 19,8 t/ha ile bitki örtüsüz profiller ve 7,7–11,4 t/ha ila 0,30 m ile bitki örtüsüz-aşınmış profillerle karşılaştırılır. Bitki örtüsünün varlığı, çeşitli toprak özelliklerini iyileştirir ve yüzeyde ve derinlikte, bitkisiz ve bitkilendirilmiş profiller arasında TOK ve diğer toprak özelliklerinde farklılıklara neden olunacağı belirtilmiştir (Wong, Murphy, ve ark., 2008).

2.3. Sera Gazı Emisyonu (CO_2)

Önemli bir sera gazı olan karbondioksit (CO2) gazı, toplam sera etkisinin % 60'ını oluşturur. Diğer sera gazları ise Metan (CH4), Nitröz Oksit (N2O), Hidroflorür karbonlar (HFCs), Perfloro karbonlar (PFCs) ve Sülfürhekza florid (SF6)'tir. Anack iklim değişimin ene çok etki eden CO2'dir. Atmosferik CO2 için, toprak önemli bir kaynaktır. Sera gazı emisyonları nedeniyle artan küresel ısınma tehditleri durumunda, toprakta C'yi bağlayarak CO2 emisyonunu azaltmak birincil öneme sahiptir. Toprağın organik karbon içeriğini artırma, toprak işlemeyi azaltma, gübreleme, kalıntı ekleme, toprak biyoçeşitliliğini iyileştirme, mikro agregasyon ve malçlama gibi toprak yönetimi uygulamaları, C'nin toprağa bağlanmasında önemli bir rol oynayabilir (Rastogi ve ark., 2002b).

Topraktan gelen net karbondioksit (CO_2) emisyonu, organik malzemenin giriş hızı ve ayrışma oranı ile kontrol edilebilmekte ve bu da sıcaklık, nem ve toprak faktörlerinden etkilenmektedir. CO_2 emisyonu ve toprak faktörleri arasındaki ilişkiler tuzdan etkilenmeyen topraklarda iyi çalışılmış olsa da, tuzdan etkilenen topraklardan CO_2 emisyonunu kontrol eden toprak özellikleri hakkında çok az şey bilinmektedir (Setia ve ark., 2011).

Organik değişiklik türlerinin ve uygulama oranlarının CO2 emisyonları ve toplam toprak organik karbonu üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Daha kümülatif CO2 tavuk gübresi tedavi yayılan edilmiş süt gübre milorganite ile ve daha sonra takip etti. Karbondioksit emisyonu, iki büyüme mevsimi boyunca hava/toprak sıcaklığı ve yağıştan ziyade uygulanan organik değişiklikler ve uygulama oranlarından daha fazla etkilenmiştir. Bitki örtülü arazi yüzeyleri, küresel karbon döngüsünde karbonun durumunu belirlemede önemli bir faktördür. Bununla birlikte, küresel ölçekte karasal biyosfer anlayışımız, özellikle iklim değişkenlerinin karbon döngüsü üzerindeki etkileriyle ilgili olarak, önemli belirsizliğe tabidir. Toprak CO2 değişimi havuzudur ve karbon tutulmasına yardımcı olan bir kaynaktır. Tarımsal yönetim uygulamaları, toprak CO2 emisyonu ve alım oranlarını değiştirerek karbon döngüsünün yanı sıra toprak suyu dinamiklerini de etkiler. Topraktaki CO2 emisyon oranı, farklı ürün ve

organik değişiklikler için değişiklik gösterir. Yapılan bir araştırmada karalahana yetiştirmek için 36 parsel geliştirilmiş. Dört uygulama seviyesinde (0, 168, 336 ve 672 kg N/ha) üç tip organik değişiklik (Tavuk gübresi, Süt gübresi ve Milorganit) kullanılmış ve üç kez tekrarlanmıştır. Her bir organik değişiklik türü, rastgele seçilen dokuz parsele uygulandı. Sonuçlar, uygulama oranlarının her organik değişiklik için daha yüksek olduğunu ve topraktan CO2 emisyonunun daha yüksek olduğunu görülmüştür. Sonuçlar ayrıca tavuk gübresi ve milorganit ile değiştirilmiş topraklar için daha yüksek kümülatif CO2 emisyonları, ancak süt gübresi ile değiştirilmiş topraklar için en düşük kümülatif CO2 emisyonları gösterdi. Bu saha deneyi ve analizleri, toprak CO2 emisyonunun zamansal ve mekansal varyasyonlarının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur ve aynı zamanda, farklı sıcaklıklar kullanarak değişen sıcaklıklarda karalahanaların büyüme periyotları sırasında karbon tutulmasını en üst düzeye çıkarmak ve toprak CO2 emisyonlarını en aza indirmek için en iyi yönetim uygulamalarının geliştirilmesine yardımcı olacağı belirtilmiştir (Ray ve ark., 2020).

Artan atmosferik karbondioksit (CO2) konsantrasyonları, topraktaki mikrobiyal aktivite ve su içeriği toprakta biyotik ve abiyotik koşulları etkileyebilir. Buna nedenle, bu değişikliklerin önemli sera gazları olan metan (CH4) ve nitröz oksit (N2O) üretim ve tüketimini değiştirmesi beklenebilir (K. A. Smith ve ark., 2018; Zak ve ark., 2000).

Yapılan bir başka çalışmada artan sera gazı emisyonları, karasal ekosistemlerin ışınımsal zorlamasına katkıda bulunduğundan, bu emisyonların, artan atmosferik CO2 konsantrasyonları altında karasal karbon yutağındaki bir artıştan önceden tahmin edilen iklim değişikliği azaltma potansiyelinin en az yüzde 16,6'sını olumsuz etkilemesi beklenmektedir. Sonuçlar, kara ekosistemlerinin iklim ısınmasını yavaşlatma kapasitesinin fazla tahmin edildiğini göstermekte olduğunu belirtilmiştir (van Groenigen ve ark., 2011).

Daha yüksek CO2 emisyonları ve daha düşük mahsul verimliliği, kurak iç bölgelerde zorlu problemler haline geliyor ve tarımın sürdürülebilir gelişimini kısıtlıyor. Yapılan çalışma sonuçları, buğday-mısır birlikte ekiminde saman geri dönüşü ve artık film öğütme ile toprak işlemenin, kurak iç agroekosistemde toprak

CO2 emisyonlarını azaltmak ve toprak CO2 emisyon verimliliğini artırmak için optimum bir yönetim uygulaması olduğu doğrulandığı yapılan çalışmada belirtilmiştir (Gou ve ark., 2021).

Sera gazı emisyonları, tüm dünyada son 10 yılda sık sık meydana gelen hava felaketlerine neden olan küresel ısınmanın ana nedenidir. Önceki çalışmalar, insan faaliyetlerinden kaynaklanan küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %14'ünü oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca, oran artan bir eğilim göstermektedir ve topraktan atmosfere salınan N2O (sera gazlarından biri) 2011'den 2020'ye %26 oranında artabilir (Lompo ve ark., 2012; Troy ve ark., 2013). Toprakta bulunan nitrojen, tarım arazilerinin birincil üretkenliğini ve bitki topluluk yapısını büyük ölçüde etkilediğinden, nitrojen çoğu tarım arazisinde bitki büyümesi için en sınırlayıcı besin maddesidir. Çin'in ikinci genel detaylı toprak araştırması, yaklaşık %40'lık yüksek kesimlerdeki azot içeriğinin 0,75 g kg-1'in altında olduğunu ve azot uygulamasının 2009 yılında tüm gübre uygulamalarının %43 'ini oluşturduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, tarımsal kaynaklı sera gazı emisyonlarında azotlu gübreler de önemli bir rol oynamaktadır. Bunun nedeni, en önemli toprak azot işlemlerinden biri olan azot mineralizasyonunun, organik azotun, nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla salınan N2O ile toprak hayvanları ve mikroorganizma tarafından bitkide bulunan inorganik formlara dönüştürüldüğü süreç olmasıdır. Bu nedenle, toprak azot mineralizasyonu süreci, tarımsal ekosistem sağlığını ve korunmasını sürdürmek için önemli ekolojik anlamlara sahip olan toprak azot tedarik kapasiteleri, azot kaybı ve sera gazı emisyonları ile yakından ilişkilidir. Bu arada, toprak solunumu, salınan CO2 nedeniyle sera gazı emisyonlarının başka bir faktörüdür. Bu nedenle, toprak solunumu ve azot mineralizasyonu, çevresel ve toprak alanlarında araştırma "sıcak noktalarının bir parçası haline gelmiştir. Daha önceki araştırmalara göre, toprak mikroorganizmasının toprak solunumunu ve azot mineralize olmasını kontrol eder. Ek olarak, toprak solunumu ve azot mineralizasyonu, toprak dokusu, toprak agregası ve toprak hidrolojisi gibi faktörlerden de etkilenir. Ayrıca, toprak sıcaklık, bu toprak süreçlerini belirleyen mikrobiyal tür, miktar ve aktiviteyi önemli ölçüde etkileyebilir. Ayrıca toprak tuzlulaşması, topraktaki mikroorganizma stresi olarak da kabul edilir. Rietz ve Hayne, potansiyel olarak mineralize nitrojende önemli bir düşüşe neden olabilecek

tuzluluğun artmasıyla organik madde ayrışmasının engellendiğini bulmuşlardır. Bununla birlikte, (Khoi ve ark., 2006), tuzluluğun nitrojen mineralizasyonu üzerindeki olumsuz etkilerinin kısa ömürlü olduğunu, buna karşın nitrojen mineralizasyon hızının sonraki aşamalarda düzeldiğini bulmuşlardır (Zeng ve ark., 2013).

2.4. Toprakta Mikrobiyal Aktivite

Enzimler hücre yıkımı sırasında salgılanmasına rağmen kesinlikle aktivitelerini kaybetmezler. Enzimler toprak çözeltisinde serbest olabilir veya toprağın organik ve inorganik bileşenleriyle bağlı bir kompleks oluşturabilir.

Toprak enzim aktiviteleri toprak özellikleri, toprak tipleri ve çevre koşulları ile yakından ilişkilidir. Toprak enzim aktiviteleri artık toprak kalitesi ve toprak biyolojik aktivitelerinin önemli göstergeleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rietz ve Haynes, 2003; Yuan ve diğerleri, 2007). Bu nedenle, toprak enzim aktivitelerini etkileyen faktörlerin incelenmesi önemlidir (Dick ve Burns, 2011). Tüm enzimler arasında üreaz , alkalin fosfataz ve katalaz aktivitesi çevresel değişikliklere daha duyarlıdır. Üreaz, özellikle azot içeren organik maddelerin hidrolizini destekler ve toprakta N'nin oluşumu ve mevcudiyeti ile yakından ilişkilidir (Liang ve diğerleri, 2003). Üreaz enzim aktivitesi yüksek tuzluluk ve alkakliliğe duyarlıdır. Bu, üreaz enzim aktivitesinin toprağın bir kalite göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir (H.-S. Zhang ve ark., 2014). Katalaz enzim aktivitesi, metabolizma sırasında üretilen peroksitin ayrıştırarak organizmalar üzerindeki toksik etki göstermesini önleyebilir. Bu enzim aktiviteleri topraktaki karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) döngüsünde önemli bir rol oynar. Ayrıca topraktaki çeşitli biyokimyasal reaksiyonlarda doğrudan yer alarak toprakta çok sayıda biyokimyasal süreçlere katılırlar (Guangming ve ark., 2017a).

Toprağın organik maddesinin miktarı ve kalitesi, toplam gözeneklilik ve havayla dolu gözenek boşluğu oksijenlenmeleri toprak pH'ı mikrobiyal biyokütle ve toprak dokusu, doğrudan toprak CO2 emisyonları ile ilişkilidir ve toprak yönetiminden etkilenir (Moitinho, Teixeira, ve ark., 2021b).

Toprak enzimleri toprakta her yerde bulunur ve TOM'un mineralizasyonunu ve ayrışmasını destekleyebilen ve inorganik besinleri serbest bırakabilen topraktaki en aktif bileşenlerden biri olarak kabul edilebilir. Toprak pH'ı, toprak enzimlerinin biyokimyasal reaksiyonlara katılma hızını doğrudan etkiler ve pH optimum aralığını aştığında, enzim aktivitesi inhibe edilir. Zhang ve ark. toprak enzim aktivitesinin tuzlu-alkali stresinden de etkilendiğini ve tuzlanmış topraktaki toprak tuzu içeriğinin, hidrooksidaz ve invertaz gibi enzim aktiviteleri ile önemli ölçüde negatif korelasyon gösterdiğini buldu (B. Zhang ve ark., 2018). Enzim aktivitesi ile toprak pH'ı arasındaki ilişkinin de TOK üzerinde kontrol edici etkisi vardır. Küresel bir perspektiften, Sinsabaugh ve ark. hidrolaz aktivitesinin daha çok TOK ile ilişkili olduğu sonucuna varmıştır (Sinsabaugh ve ark., 2008).

Toprak mikroorganizması, ekosistemdeki madde dolaşımının düzenlenmesinde kilit bir rol oynar ve toprak özelliklerini ve fonksiyonlarını ölçmek için önemli bir indekstir. Toprağın fiziko-kimyasal özellikleri, besin döngüsü ve mikrobiyal aktivite, toprak işleme türünden etkilenir. Toprak nemi, sıcaklığı ve karbon girdisindeki değişiklikler de topraktaki mikrobiyal aktivite üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve bu da TOM'un devriden dolayı besin mevcudiyetini etkilemektedir. Lenton ve ark, sıcak artışının mikrobiyal topluluk yapısının değişmesine neden olduğu, bunun da TOK'un ayrışmasını hızlandırdığını ve toprakta depo edilen karbonu atmosfere saldığını belirtmişlerdir (Lenton ve Huntingford, 2003). Rey ve ark., nemin toprak ortamının oksijen durumunu ve mikrobiyal aktivitesini değiştirdiğini ve böylece TOK mineralizasyonunu etkilediğini bulmuştur (Rey ve ark., 2005).

Toprak mikroorganizmalarının ve toprak enzimlerinin rizosferde TOK ve TİK dönüşümü üzerindeki etkilerini araştırmak, tuzlu-alkali toprak bölgesindeki toprak karbon döngüsünün yeni bir araştırma konusudur. Araştırmada sonuçlar, kök-toprak-mikroorganizma etkileşiminin tuzlu-alkali topraklarda tuz stresi ile değiştiğini göstermiştir. Katalaz, artan tuzluluk ile azalış gösterdiği ve katalazın çeltik tarlalarındaki TOK içeriği ile önemli ölçüde pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir (Qu ve ark., 2022b).

Yapılan farklı araştırmalarda, dehidrojenaz aktivitesi ile bir dizi farklı işlem görmemiş toprağın oksijen alımı arasında önemli bir korelasyon elde edildiğinden, formazan oluşumunun toprakta endojen solunumun bir indeksi olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir. Formazan oluşumu ile taze bitki materyalinin uygulanmasından sonra aralıklarla numune alınan bir toprağın solunumu arasında da doğrudan bir ilişki gözlemlendi. Bir dizi tarla toprağı üzerinde yapılan bir incelemede, dehidrojenaz aktivitesi ile bakteri sayıları arasında hiçbir ilişki bulunmadı; ancak topraklardan birine eklenen keten kalıntılarının bozunması sırasında iki parametre paralel bulunmuştur (Stevenson, 1959).

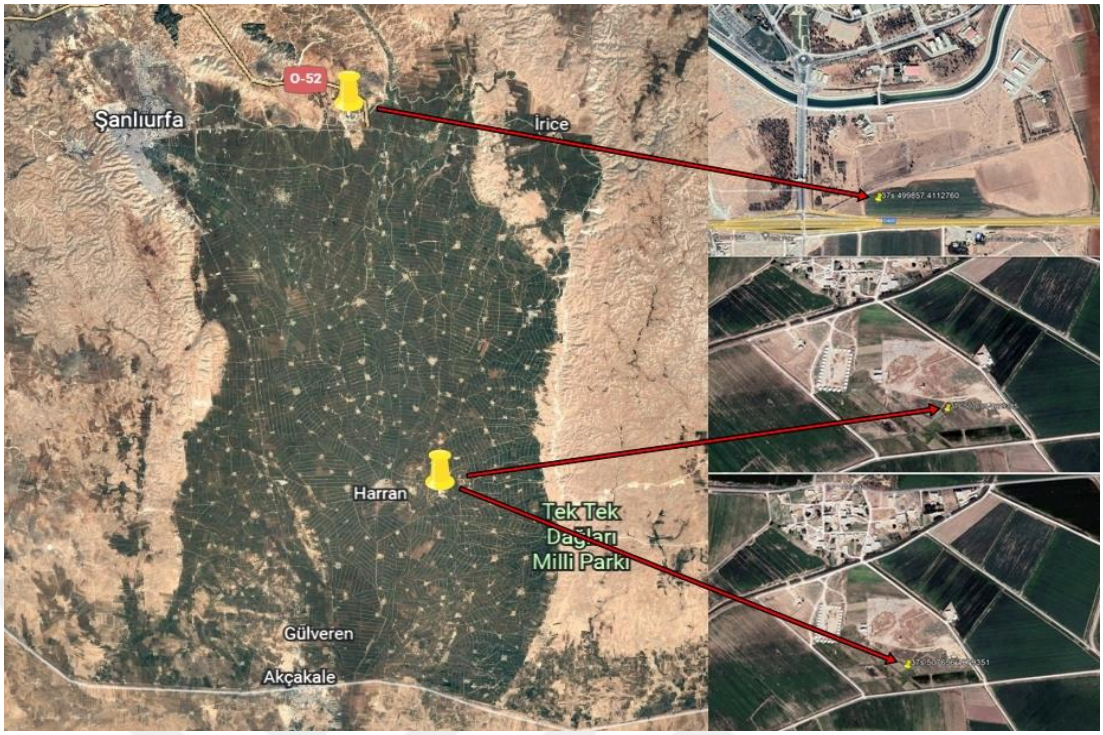
Bu çalışmada da farklı tuz ve alkaliliğe sahip topraklarda CO2 salınımları ile TOK değerleri ölçülerek toprak tuzluluğunun iklim üzerindeki olası etkileri irdelenmiştir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Araştırma Materyali

Araştırmada kullanılan tuzsuz toprak örneği Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan tarımsal uygulama alanındaki (pH: 7,96 EC:0,96 dS/m) arazilerden alınmıştır. Araştırmada kullanılan tuzlu toprak (pH: 8,16 EC:6,09 dS/m) ve tuzlu-alkali toprak örnekleri (pH:7,85 EC: 13,47 dS/m) ise Şanlıurfa ili Harran ilçesi Bozyazı köyü tarım alanlarından alınmıştır. 0-20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri oda sıcaklığında kurutulup 2 mm elekten geçirildikten sonra topraklar 20 °C'de muhafaza edilmiş olup analizlere hazır hale getirilmiştir. Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan deneme alanlarından alınan buğday anızı toprak örnekleriyle (1 g anız kg-1 toprak) olacak şekilde homojen bir şekilde karıştırılmıştır.

Araştırma toprak örnekleri 37. dilim UTM WGS84 koordinat sistemine göre tuzsuz toprak örneği X=499857 Y=4112760, tuzlu toprak örneği X=507656 Y=4079351 ve tuzlu-alkali toprak örneği X= 507695 Y= 4079385 koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1.Çalışma alanı konumu ve örnekleme yerleri

3.2. Denemenin Kurulduğu Yer

Harran Üniversitesi, Bitki Besleme ve Toprak Bölümü bünyesinde bulunan Akıllı Tarım Toprak/Bitki Analiz Laboratuvarında kurulan, robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sisteminde gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar koşullarında yürütülen deneme süreci, 10.02.2021– 01.03.2021 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

3.3. Çalışma Alanı İklimi

Çalışma alanı, karasal ve Akdeniz iklimi özelliklerine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışlar ise yağışlı ve soğuk geçer. İklimin en belirgin özelliği, en soğuk ve en sıcak ayların sıcaklık ortalamaları arasında belirgin fark olmasıdır. Ölçülen en yüksek sıcaklık 46,5°C, en düşük sıcaklık -13,9°C olarak belirtilmiştir. Maksimum sıcaklık temmuz ayında meydana gelirken minimum sıcaklık ocak ve şubat ayları arasında görülmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 350mm olurken bu miktar kuzeye doğru

410mm'ye kadar bir yükselme eğilimi göstermektedir. En yüksek buharlaşma genellikle Temmuz ayında, en düşük ise Şubat ayındadır (MGM, 2000).

3.4. Çalışma Alanı Jeolojik Özellikleri

Harran Ovası 225.109 hektarlık bir alana yayılmıştır ve deniz seviyesinden ortalama 400 metre yüksekliktedir. Kuzeyde Germuş, doğuda Tektek, batıda Fatik ve Cudi dağları, güneyde Türkiye-Suriye sınırı Harran Ovasını çevreler (Dinç ve ark., 1988).

Harran Ovasının deniz seviyesinden olan yüksekliği 350–500 metre arasındadır. Rakım kuzeyden güneye doğru alçalma gösterir. Şanlıurfa merkez yerleşim yerinden yaklaşık 500 metreden başlamakta ve Akçakale ilçesinde 350 metreye kadar düşmekte olup Harran ilçesinden Suriye sınırına kadar olan alanda Harran ovasının bir çanaklaşma veya çukurlaşma olduğunu göstermektedir (Çullu ve ark., 2000).

3.5. Çalışma Alanı Toprak Özellikleri

Harran Ovası toprakları kökeni alüvyal ve ana materyal üzerinde (yerinde oluşmuş) topraklar oluşturmaktadır. Ova toprakları genelde derin toprak profiline sahip olup kahverengi ve kırmızı– kahverengi arasında değişiklik göstermektedir(Dinç ve ark., 1988). Sıcak ve düşük yağışlı bir iklim etkisinde oluşan bölge topraklarının pH, kireç ve kil içerikleri yüksek, organik madde içeriği ise düşüktür. Topraklarda eğim, yetersiz toprak derinliği ve bazı alanlarda görülen yüksek taban suyu, topraklarda verimliliği sınırlayan önemli bölgesel sorunlardır. Sulama yapılması halinde yüksek verim kapasitesine sahip topraklar, kuru koşullarında düşük verim kapasitesine sahiptir. Düzensiz bir topoğrafik yapıya sahip arazilerin önemli bir kısmında ekonomik üretim yapılabilmektedir (Çullu ve ark., 2015).

Harran Ovası'nın sulanan bölgelerinin önemli bir bölümü düz ve bitki gelişimi için yeterli derinliğe sahiptir. Genel olarak, yüksek miktarda kireç ve kil içeren topraklar, düşük düzeyde organik madde içerir. Toprakta organik madde düşüklüğü ve

yüksek kil konsantrasyonu, tohum yatağı hazırlama, toprak işleme ve sulamada verimi etkileyen bazı sorunlara neden olur. Ovanın güney kesiminde kısmen de olsa tuzluluk ve taban suyu ile ilgili sorunlar mevcuttur (Çullu ve ark. 2010).

3.5. Yöntem

3.5.1 Deneme metodu ve uygulama

Çizelge 3.1. Deneme metodu

Toprak Adı	Toprak Miktarı	Anız Miktarı
Tuzsuz Toprak	1 kg	1 g
Tuzlu Toprak	1 kg	1 g
Tuzlu-Alkali Toprak	1 kg	1 g

Denemede şeffaf pleksiglas malzemeden yapılmış çapı 140 mm ve boyu 200 mm olan inkübasyon çemberleri kullanılmıştır. Deneme 1 adet tuzsuz, 1 adet tuzlu ve 1 adet tuzlu-alkali toprak olmak üzere 3 tekerrürden oluşturulmuş ve 1 adet kontrol grubu olarak toplam 10 adet örnek olacak şekilde kurulmuştur. Topraklar (1 kg kuru toprak) inkübasyon çemberlerine yoğunluğu 1.3 g cm-3 olacak şekilde koyulduktan sonra toprak nemi %75 su tutma kapasitesinde ve gözenekli seramik plaka altına uygulanan vakum ile ayarlanmıştır (Senbayram ve ark., 2018). Her bir inkübasyon çemberinin kapağı gaz geçirmeyecek şekilde kapatılarak çemberlerden çıkan hava akımı 20 ml/dakika-1 olarak ayarlandı. İnkübasyon çemberlerinden çıkan havanın, iki adet çok pozisyonlu VICI-VALCO (Houston, Amerika) seçici valf yardımı ile tek tek gaz kromatografisi cihazına (SRI 8610-0040 Greenhouse Gas GC System, ABD) aktarılması sağlanarak cihazda bulunan elektron yakalayıcısı detektörü ile (ECD) inkübasyon çemberlerinden çıkan havada ki CO2 konsantrasyonlarının ölçülmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. İnkübasyon sistemi

3.5.2. Toprak analizleri

3.5.2.1. Fiziksel ve kimyasal analizler

3.5.2.1.1. pH ve EC analizi

Toprak örnekleri 2 mm'lik elek ile elenmiş hava kuru topraktan 100 g alınıp, büretle saf su eklenerek toprağın doygun hale gelmesi sağlanır. Laboratuvar şartlarında bekletilen saturasyon çamuru vakumlama yöntemiyle süzük alınır. pH-EC metre aletiyle süzükte okuma yapılarak belirlenmiştir (Richards, 1954).

3.5.2.1.2. Tekstür analizi

Toprak tekstür analizi Bouyoucos hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951).

3.5.2.1.3. Kireç (% CaCO3) analizi

CaCO3 Scheibler kalsimetresi yardımıyla HCI kullanılarak açığa çıkan CO2'in standart sıcaklık ve basınç altındaki hacmi esas alınarak analiz edilmiştir (Allison and Moodie, 1965).

3.5.2.1.4. Hacim ağırlığı (g/cm3) analizi

Araziden 100 cm3 hacime sahip çelik silindir yardımıyla bozulmamış toprak örneği alınarak fırın kuru ağırlığı tartılarak belirlenmiştir (Demiralay, 1993).

3.5.2.1.5. Toprak organik madde analizi

Organik madde Walkey-Black metoduna göre yapılmıştır (Walkley ve Black, 1934).

3.5.2.2. Biyolojik analizler

3.5.2.2.1. Dehidrogenaz enzim aktivitesi

Glukoz (%0,5) ve (%3) lük 2,3,5- trifeniltetrazolium klorid ile inkübasyona bırakılmış olup İnkübasyon sonucunda metonal ile ekstrakte edildikten sonra oluşan kırmızı rengin yoğunluğu, trifenilformazon kullanılarak hazırlanan standart kullanılarak spektrofotometrik okuma yapılmıştır ve sonuç µg TPF/g kuru toprak cinsinden belirlenmiştir (Stevenson, 1959).

3.5.2.2.2. Katalaz enzim aktivitesi

Hidrojen peroksit (%30)'luk kullanılarak oksijen çıkışı ml olarak saptanmıştır (Beck, 1971).

3.5.3. İstatistiksel Değerlendirme

Tüm parametrelerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için JAMOVI (2.2.5) yazılımı kullanılmıştır (Jamovi project, 2021).

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.1. Farklı tuzluluk değerindeki üç toprakta yapılan bazı analiz sonuçları

Toprak Örneği	Tuzsuz Toprak	Tuzlu Toprak	Tuzlu-Alkali Toprak
Organik Madde (%)	1.33	1.4	1.3
Hacim Ağırlığı (g/cm3)	1.6	1.48	1.5
pH	7.96	8.16	7.85
EC (dS/m)	0.91	6.09	13.47
%kil	60.72	38.72	14.72
%silt	17.28	19.28	49.28
%kum	22	42	36
Kireç (%)	24.38	20.7	20.55
Katalaz (ml)	79	30	36
DHA (µg TPF/g)	20.49	32.37	44.99

DHA: Dehidrogenaz enzim aktivitesi
(µg TPF/g): Mikrogram trifenilformazon gram kuru toprakta

Harran Ovası Bozyazı Köyü ile Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsü tarım arazilerinden alınan toprak örneklerine ait parametrelerin (pH, elektriksel iletkenlik, tekstür dağılımı, hacim ağırlığı, kireç içeriği, organik madde, dehidrogenaz ve katalaz enzim aktivitesi) birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler ile her bir (tuzsuz, tuzlu ve tuzlu-alkali) için C stoğu hesaplanmış; Şanlıurfa ili farklı tuz şiddetindeki topraklardaki C stoklarının tahmini yapılmıştır.

4.1. Araştırma Topraklarının Fiziksel ve Kimyasal özellikleri

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde yürütülen laboratuvar analiz sonuçlarına göre; çalışma alanı topraklarının elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla, tuzsuz toprakta 0,91 dS/m, tuzlu toprakta 6,09 dS/m ve tuzlu-alkali toprak örneğinde ise 13,47 dS/m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Toprakların elektriksel iletkenlik dağılımı

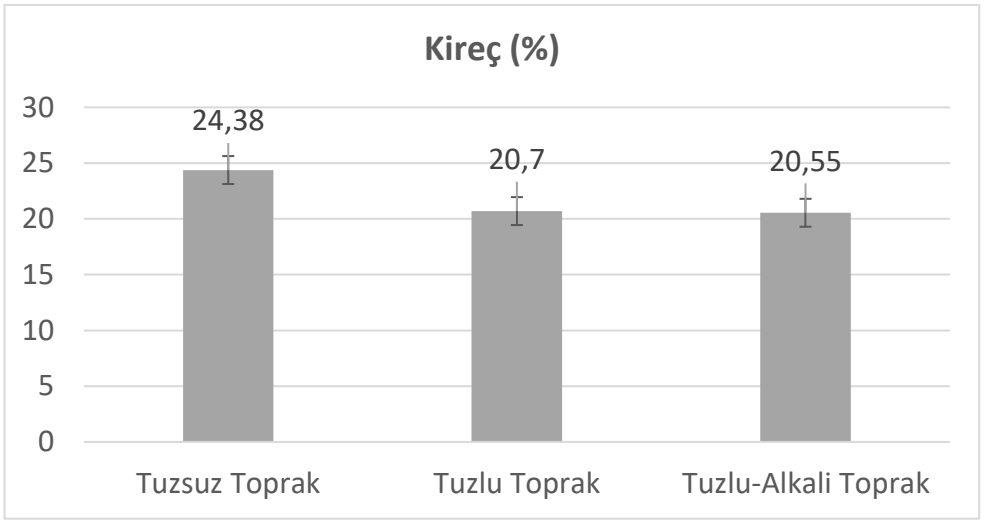
Toprak Örnek No	Ortalama	STD Hata
Tuzsuz Toprak	0,91	0,10
Tuzlu Toprak	6,09	0,27
Tuzlu-Alkali Toprak	13,47	0,46

Çizelge 4.2.'de verilen EC sınıflandırılmasına göre çalışma alanından alınan topraklar tuzsuz, tuzlu ve tuzlu-alkali sınıfında yer aldıkları belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Toprakların elektriksel iletkenlik (EC) ve % tuz değerlerine göre tuzluluk dereceleri (Richards, 1954)

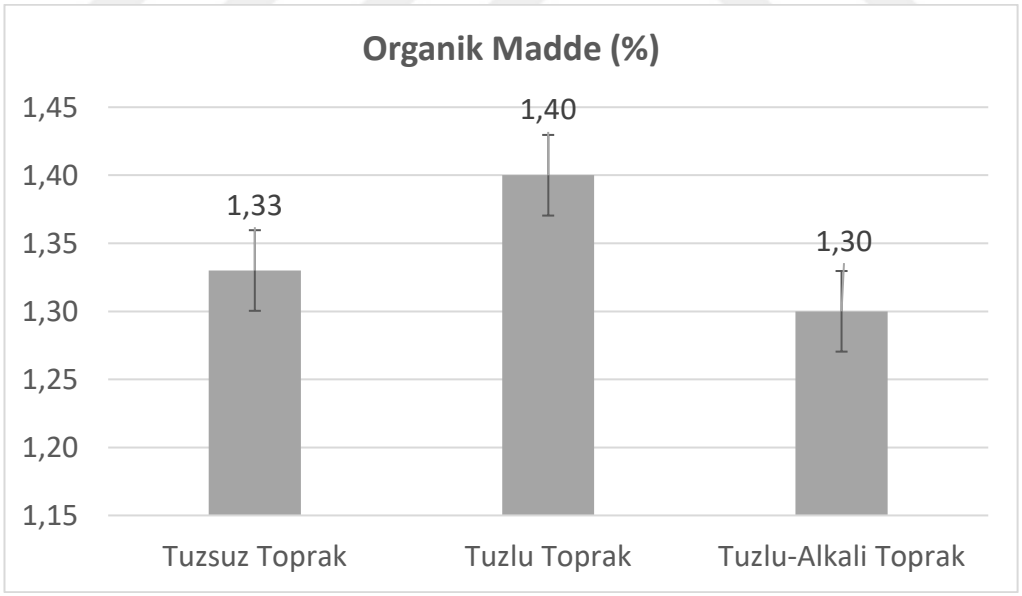
Elektriksel iletkenlik (EC) (dS/m)	Çözünebilir % Tuz	Tuzluluk Dereceleri
0-2	0-0,15	Tuzsuz
2-4	0,15-0,35	Çok hafif tuzlu
4-8	0,35-0,65	Orta tuzlu
8-15	>0,65	Yüksek tuzlu

Şekil 4.1.'deki analiz değerlendirilmesinde toprakların kireç içerikleri bakımından Ülgen ve Yurtseven (1995)' e göre fazla kireçli olduğu ve farklı tuz içeriğine sahip topraklarda kireç içeriği bakımından bir fark olmadığı görülmüştür (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Toprakların kireç içerikleri

Toprak organik maddesi farklı tuz içeriğine ve toprak reaksiyonuna sahip topraklarda bir farklılık göstermemiştir. Ülgen ve Yurtseven (1995), göre toprak organik madde seviyeleri yönünden toprakların organik madde miktarının düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Toprak Organik Maddesi

Çullu ve ark. (2010), yaptığı araştırmada Harran ovası topraklarının yüksek pH, CaCO3 ve katyon değişim kapasitesine sahip olduğu, ancak toprak organik madde

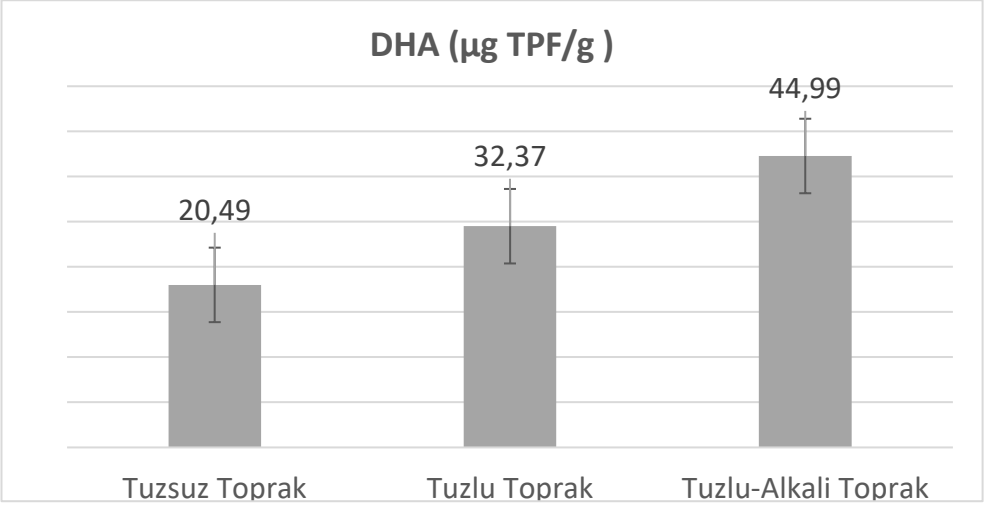
içeriğinin düşük olduğu belirlenmiştir. Toprakların 100 cm derinliğe kadar ağır killi bünye içerikli olduğunu ifade edilmiştir (Cullu ve ark., 2010).

Tuzlu yeraltı suları, kurak ve yarı kurak yerlerde yetersiz yağış nedeniyle toprak profilinden çözünebilir tuzların yer altı hidrolojik döngüsüne katılmak için aktarılamaması nedeniyle, özellikle sıcak ve kurak dönemlerde kılcal yükselme yoluyla toprak yüzeyine ulaşabilir. Yüksek buharlaşma, sıvıların toprak yüzeyinden buharlaşmasına neden olarak, taşıdıkları tuzları yüzeyde veya yüzeyin yakınında bırakır. Başka bir deyişle, az yağış ve aşırı buharlaşma bu alanlarda tuzlanmanın ana nedenleridir (Richards, 1954).

4.2. Araştırma Topraklarının Biyolojik Özellikleri

Farklı tuz içeriğine sahip topraklarda tuzluluk şiddetinin topraktaki enzim aktivitesine etkisini belirlemek için yapılan analiz verileri Şekil 4.3.'te verilmiştir.

Topraklardaki mikrobiyal faaliyeti ölçen ve mikroorganizmaların durumunu belirleyen önemli bir parametre olan dehidrogenaz enzim aktivitesi toprakların tuz içerikleri arttıkça artış gösterdiği görülmüştür.



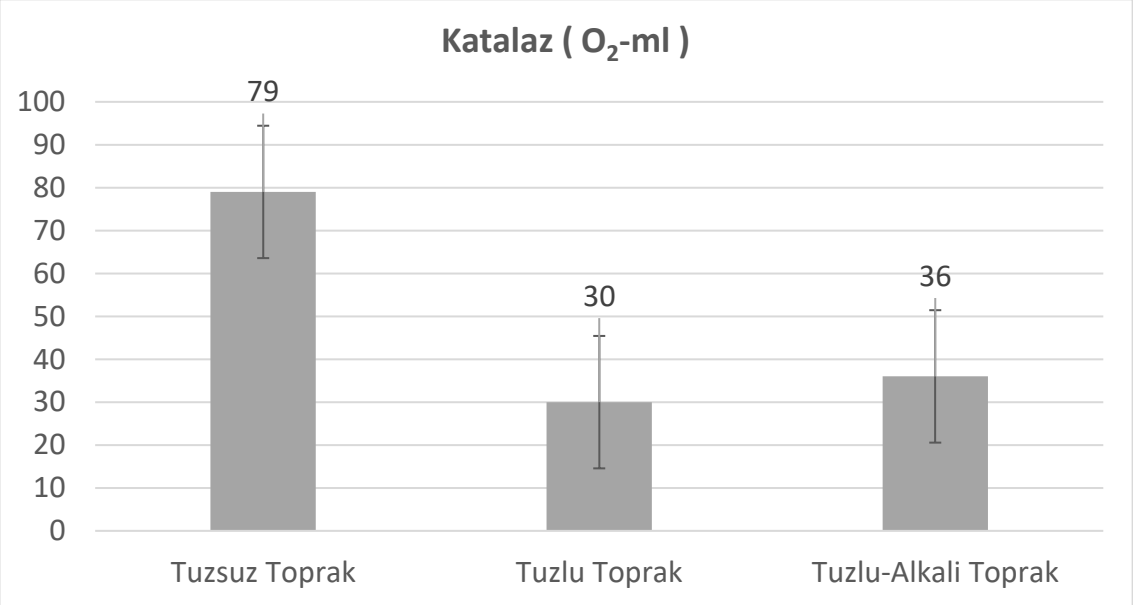
Şekil 4.3. Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi

Dehidrogenaz enzim aktivitesi en yüksek olarak tuzlu alkali topraklarda olduğu ve bunu sırasıyla tuzlu ile tuzsuz toprakların takip ettiği görülmüştür.

Dehidrojenaz aktivitesi, topraklardaki oksidatif metabolizmanın ve dolayısıyla mikrobiyal aktivitenin bir göstergesi olarak kabul edilir (Salazar ve ark., 2011).

Toprak mikroorganizmalarının, artan strese bağlı mikrobiyal biyokütle başına birim zamanda daha fazla CO2 ürettiği belirtilmiştir. Mikrobiyal popülasyon giderek daha fazla stres altında olduğundan, mikrobiyal senteze ve humusa dönüştürülmek yerine solunum yoluyla daha fazla C kaybı olur (Wong, Murphy, ve ark., 2008).

Katalaz enzim aktivitesi toprakların tuz içeriklerine göre kademeli olarak azalma göstermiştir. Topraklarda tuzun varlığı diğer bir mikrobiyal aktiviteyi belirleyen katalaz enziminin aktivitesini azaltmıştır. Katalaz enzim aktivitesi verileri Şekil 4.4.'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Katalaz Enzim Aktivitesi

Qu ve ark., katalaz enzim aktivitesinin artan tuzluluk ile azalış gösterdiğini ve bu enzimler ve mikroorganizmalar, tuzlu-alkali topraklarda toprak karbon birikimi için

faydalı olduğu belirtilmiştir (Qu ve ark., 2022b). Sonuçlar katalaz enzim aktivitesinin tuzsuz toprakta, tuzlu ve tuzlu-alkali toprağa göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Katalaz aktivitesi, metabolizma sırasında üretilen peroksitin ayrışmasını sağlayarak organizmalar üzerindeki toksik etkilerini önleyebilir. Katalaz enzim aktivitesi toprak C, N ve P döngüsünde büyük bir etkiye sahiptir (Guangming ve ark., 2017b).

QU ve ark., yaptıkları çalışmada buldukları sonuçlar, kök-toprak-mikroorganizma etkileşiminin tuzlu-alkali stresi ile değiştiğini göstermiştir. Katalaz artan tuzluluk ile azalmıştır (Qu ve ark., 2022b).

Garcia ve ark.'na göre bir toprağın mikrobiyal aktivitesinin biyolojik ve biyokimyasal özellik göstergeleri, toprakta meydana gelen değişikliklere en duyarlı olduğunu ve bu özellikler, toprak kalitesindeki değişiklikler hakkında hızlı ve doğru bilgi sağladığını bildirmiştir (Garcia ve ark., 2000).

Analiz sonuçlarına göre en yüksek dehidrogenaz enzim aktivitesi tuzlu-alkali toprakta olduğu bunu sırasıyla tuzlu toprak ve tuzsuz toprak takip ettiği görülmektedir. Wong ve arkadaşlarının daha önce gerçekleştirdiği çalışmada da kontrol ve düşük tuz oranına sahip toprakların mikrobiyal aktivite seviyelerinin ve toprak solunumunun tuzlu topraklara göre daha iyi olduğu tespit edilirken, mikrobiyal biyokütle seviyesinin ise tuzlu topraklarda daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Wong ve ark., 2008b).

Tez kapsamında yapılan kimyasal, fiziksel ve biyolojik analizlerde yapılan istatistiki korelasyon analiz sonucu Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Tüm parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları

	Organik Madde (%)	Hacim Ağırlığı g/cm3	pH	EC (dS/m)	%kil	%silt	%kum	Katalaz (ml)	DHA (µg TPF/g)	Kireç (%)	(TOK) Stoğu (ton C ha-1)
Organik Madde (%)	1										
Hacim Ağırlığı g/cm3	-0.374	1									
pH	0.998 *	-0.317	1								
EC (dS/m)	-0.387	-0.711	-0.442	1							
%kil	-0.222	0.987	-0.162	-0.813	1						
%silt	-0.692	-0.411	-0.735	0.933	-0.550	1					
%kum	0.500	-0.990	0.446	0.605	-0.955	0.279	1				
Katalaz (ml)	-0.333	0.924 *	-0.275	-0.741	0.993	-0.450	-0.983	1			
DHA (µg TPF/g)	-0.341	-0.744	-0.398	0.976 *	-0.841	0.915	0.643	-0.773	1		
Kireç (%)	-0.191	0.982	-0.131	-0.831	0,983 *	-0.576	-0.946	0.989	-0.857	1	
(TOK) Stoğu (ton C ha-1)	0.492	0.624	0.544	-0.993	0.740	-0.969	-0.508	0.657	-0.986	0.760	1

Note. * p <0 .05, ** p <0 .01, *** p < 0.001

Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin laboratuvar çalışmaları sonucunda belirlenen kimyasal, fiziksel ve biyolojik parametrelerin birbirleri ile olan ilişkililerini belirlemek için yapılan korelasyon analiz sonuçları Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Korelasyon değerleri +1 ve -1 olacak şekilde pozitif ve negatif korelasyonu göstermektedir. Belirtilen tabloya göre EC ile DHA arasında pozitif yönde ve çok kuvvetli derecede ilişki gözlenirken diğer parametreler arasında önemli bir ilişkiye rastlanılmamıştır. pH ile organik madde arsında pozitif ve çok yüksek ilişki görülürken diğer parametreler arasında ilişki yoktur. Korelasyon analizi sonucuna göre kireç ile kil arasında pozitif ve çok kuvvetli ilişki tespit edilmiş, ancak diğer parametreler arasında ilişki tespit edilmemiştir. Hacim ağırlığı ile katalaz enzim aktivitesi arasında pozitif ve çok kuvvetli ilişki gözlenirken, diğer parametreler arasında bir ilişki tespit edilmemiştir.

Salazar ve ark., dehidrojenaz enzim aktivitesinin, topraklardaki oksidatif metabolizmanın ve dolayısıyla mikrobiyal aktivitenin bir göstergesi olarak kabul edilir olduğunu belirtmişlerdir (Salazar ve ark., 2011). Tuzlu ve tuzlu-alkali topraklarda bitki gelişimi iyi olmadığından ve bitki artıkları az olduğunda organik madde miktarları da düşük olmaktadır.

Salazar ve ark., yaptıkları araştırma sonuçlarına göre, β-glukozidaz, arilsülfataz ve dehidrojenaz enzimatik aktivitesinin, mevcut en yüksek organik madde ve toplam azot miktarlarının mevcut olduğu meşe ormanı örneğinde daha düşük olduğunu belirlemişlerdir (Salazar ve ark., 2011).

Tuzlanma durumunda elektrolit konsantrasyonunu artırabileceğinden aerobik mikroorganizma sayısını artıramaması tuzlu ve tuzlu-alkali toprakta tuzsuz toprak örneğine göre katalaz enzim aktivitesi düşük çıkması bundan dolayı olabilir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda da katalaz enzim aktivitesinin redoks etkisine sahip olduğu ve bu sayede aneorobik mikroorganizmaların sayısını arttırıp, toprağın daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağladığı görülmektedir (Guangming ve ark., 2017a).

4.3. Araştırma topraklarının Organik Karbon Stok Tahmini

Bu araştırmada tuzsuz, tuzlu ve tuzlu-alkali toprak örneklerindeki karbon stoğu tahmin edilmiştir. Alınan toprak örneklerinin yüzde organik karbon ve hacım ağırlığı analizleri yapılmış ve toprakların toprak karbon (TOK) stoğu ton/ha cinsinden hesaplanmıştır. Toprakların organik madde içeriği alandaki toprak miktarı (toprak derinliği dikkate alınarak 1 ha alan için hesaplanmıştır) ve hacım ağırlığı değerleri kullanılarak toprakların organik karbon stoğu belirtilen hesaplama formülü ile belirlenmiştir.

Toprakta Organik Karbon (TOK) Stoğu Hesabı (ton/ha):
1 ha Toprak Miktarı.(ton) x Org. Karbon.(OM/1.724)xHacim ağırlığı (g/cm3) (4.1)

Çizelge 4.5. TOK Stoğu Değerleri

Toprak Çeşidi	**Derinlik** (cm)	**Toprak Organik Karbon (TOK) Stoğu** (ton C ha^{-1})
Tuzsuz Toprak	0-20	24,64
Tuzlu Toprak	0-20	23,98
Tuzlu-Alkali Toprak	0-20	22,5

Tuzsuz, tuzlu ve tuzlu-alkali toprak örneklerinde elde edilen toprak organik karbon (TOK) stoğu tahmini Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Çizelge ye göre 0-20 cm aralığında tuzsuz toprak örneği TOK stoğu değeri 24,64 ton C ha, tuzlu toprak örneği için 23,98 ton C ha, tuzlu-alkali toprak örneği için 22,5 ton C ha olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.5.'te görüldüğü gibi toprak organik karbon stoğu tuzsuz toprakta, tuzlu toprak ve tuzlu-alkali toprağa göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen değerlere göre toprak organik karbon stoğu tuzsuz toprak> tuzlu toprak> tuzlu-alkali toprak şeklinde olmuştur.

Tuzluluk ve alkalilikten etkilenen toprakların toprak organik karbon stoğunun, tuzdan etkilenmeyen ve bitki örtülü topraklara göre daha düşük olduğunu belirtmiştir (Wong, Murphy, ve ark., 2008).

Toprak organik karbon (TOK) havuzu bitki örtüsünden gelen girdilere bağlı olduğundan, tuzluluk ve alkaliliğin bitki sağlığı üzerindeki etkileri, tuzdan etkilenen bölgelerdeki TOK stoklarını olumsuz yönde etkiler ve genellikle daha az TOK'a yol açar (Wong ve ark., 2010).

Tuzlu veya tuzlu-alkali topraklarda, toprak çözeltisindeki yüksek EC, kil parçacıklarının agregalar halinde topaklaşmasına neden olur, bu da dolayısıyla TOM'un ayrışmasını kısıtlayabilir. Tersine, agregaların sodik toprakların ıslanması üzerine dağılması, önceden korunan TOM'un erişilebilirliğini ve kullanılabilirliğini artırabilir ve C kaybını hızlandırabilir (Oades, 1984).

Toprak en büyük karasal C yutağıdır ve üst metrede yaklaşık 1500 Gt organik C ile dünyanın karasal C'sinin üçte ikisini içerir (Schimel ve ark., 1994). TOK havuzu, atmosferik havuzun iki katı, karasal havuzun üç katı kadar C içerir (Lal, 1995). Türkiye'deki bulunan TOK stoğunun toprağın 0,7 m derinliğe kadar olan kısımda 9,23 Pg olduğu ve tarımsal uygulamalar neticesinde yıllık oluşan emisyon miktarı 25.7 Tg C'dir (Aydın ve ark., 2017).

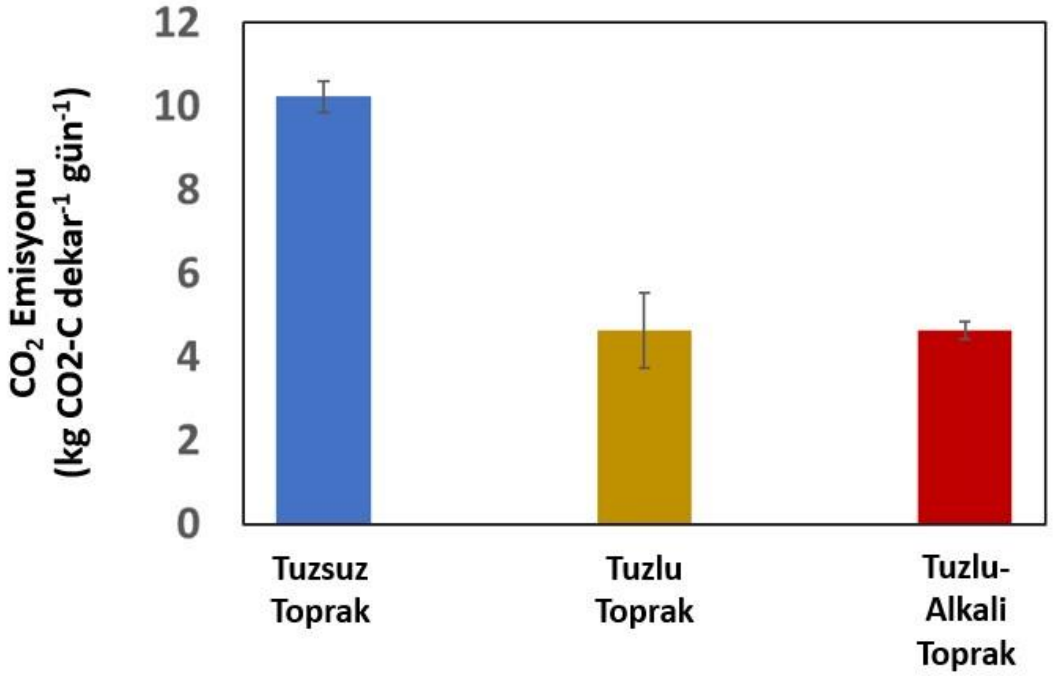
Tuzdan etkilenen topraklar genellikle, öncelikle toprağa düşük organik madde girdisine yol açan zayıf bitki büyümesi nedeniyle düşük organik madde içeriği sergiler. Organik maddenin düşük olmasından dolayı dispersiyon artar ve erozyonla toprak kayıpları meydana gelir. Sonuç olarak, tez çalışmasında elde edilen TOK içerikleri, tuzdan etkilenen topraklarda, tuzsuz topraklara göre daha düşüktür (Wong ve ark., 2010). Sonuçlar literatürle olumlu bulunmuştur.

4.4. Araştırma Topraklarının CO_2 Emisyon Değerleri

İnkübasyon süresi boyunca meydana gelen kümülatif CO_2 emisyon oranları incelendiğinde, tuzlu ve tuzlu alkali toprakların birbirine yakın kümülatif emisyon oranları verirken, tuzsuz toprak tipinde ise tuzlu ve tuzlu alkali toprak tiplerinde 2 kat daha fazla emisyon belirlenmiştir.

Toprakta meydana gelen CO2 emisyonu, topraktaki karbonun ayrışma seviyesini gösteren en hassas parametrelerden biridir (Al-Kaisi ve Yin, 2005). Karbonun toprakta ayrışma hızını etkileyen bazı faktörler mevcuttur. Bunlar toprağa ilave edilen organik maddenin kalitesi ve miktarı, kil mineralleri, toprak yapısı ve tuz miktarıdır (Wong ve ark., 2008; Dendooven ve ark., 2010; Nelson ve Oades, 1998).

Tuzlu ve Tuzlu alkali toprakların CO2 emisyonunun tuzdan etkilenmeyen topraklara göre daha düşük olmasının birkaç nedeni bulunmaktadır. Bunlar toprak ozmotik potansiyeli, sodyum adsorpsiyon oranı ve bazı toprak özelliklerindeki olumsuz değişimlerdir (Setia ve ark., 2011). Toprakta artan tuz konsantrasyonu topraktaki mikroorganizmaların popülasyonunu ve aktivitesini olumsuz etkilemektedir (Rietz ve Haynes, 2003).



Şekil4.5. İnkübasyon denemesi süresince tuzsuz toprak, tuzlu toprak ve tuzlu-alkali toprak örneklerinden meydana gelen kümülatif CO_2 emisyonları (n = 3)

Tuzlu ve tuzlu alkali toprakta tuzun dispers etme özelliğinden dolayı toprakların agregat yapısındaki bozulmaya bağlı olarak organik maddenin mikrobiyal ayrışma için daha az kullanılır bu nedenle topraktaki tuz CO2 emisyonu üzerinde bir stres koşulu oluşturmaktadır (Yuan ve Ark., 2007). Bu stres koşulunun en olumsuz etkisi ise toprakta mikrobiyal aktivitenin azalmasıdır (Pathak ve Rao, 1998).

Setia ve ark., (2011), farklı üç (tuzsuz, tuzlu ve tuzlu-sodik) toprak tipinde yaptıkları çalışmada toprakların EC değerlerinin artması ile toprakta daha düşük kümülatif emisyon değerleri belirlediklerini ve tuzdan etkilenmeyen toprakların, tuzdan etkilenen topraklardan daha fazla kümülatif emisyon değerleri verdiğini bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bizim çalışma sonuçlarımız ile benzer olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı tuz şiddetinde (tuzsuz, tuzlu, tuzlu-alkali) 0-20 cm derinlikten olacak şekilde toprak örneği alınarak elektriksel iletkenlik, pH, kireç, kil, silt ve kum dağılım, hacim ağırlığı, organik madde, dehidrogenaz ve katalaz enzim aktivitesi analizleri yapılmıştır. Analiz edilen bu parametreler arasındaki ilişki ve toprağın organik madde stoğu ve mineralizasyonu arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır.

Tuzsuz, tuzlu ve tuzlu-alkali topraklarda yapılan organik karbon stoğu (TOK) tahmininde tuzsuz toprakta 24,64 ton/ha, tuzlu toprakta 23,97 ton/ha ve tuzlu-alkali toprakta ise 22,5 ton/ha olarak tahmin edilmiştir. Buna göre TOK stoğu tuzsuz>tuzlu>tuzlu-alkali toprak şeklinde olmuştur.

İnkübasyon süresi boyunca meydana gelen kümülatif CO_2 emisyon oranları incelendiğinde, tuzlu ve tuzlu-alkali toprakların birbirine yakın kümülatif emisyon oranları verirken, tuzsuz toprak tipinde ise tuzlu ve tuzlu-alkali toprak tiplerinde 2 kat daha fazla emisyon olduğu görülmüştür.

Yapılan araştırmamıza göre EC ile DHA arasında pozitif yönde ve çok kuvvetli derecede ilişki gözlenirken diğer parametreler arasında önemli bir ilişkiye rastlanılmamıştır. pH ile organik madde arsında pozitif ve çok yüksek ilişki görülürken diğer parametreler arasında ilişki yoktur. Korelasyon analizi sonucuna göre kireç ile kil arasında pozitif ve çok kuvvetli ilişki tespit edilmiş, ancak diğer parametreler arasında ilişki tespit edilmemiştir. Hacim ağırlığı ile katalaz enzim aktivitesi arasında pozitif ve çok kuvvetli ilişki gözlenirken, diğer parametreler arasında bir ilişki tespit edilmemiştir.

5.2. Öneriler

Dünya nüfusundaki artışla birlikte artan gıda talebi ve yeni tarım alanlarına ve doğal kaynaklara yönelik ihtiyacı artırmaktadır. Atmosferde bulunan CO2 miktarının artması CO2 emisyonuyla atmosfere salınan karbon miktarı toprak için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu amaçla, toprakların uygun sulama, işleme ve gübreleme gibi amenajman uygulamalarının yapılması toprakta karbon kaybı ve karbondioksit emisyonu için tedbirlerin alınması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

ALLİSON, L. E., and MOODİE, C. D. (1965). Carbonate. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 1379-1396.

AL-KAİSİ, M. M., YİN, X., and LİCHT, M. A. (2005). Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soils. Agriculture, Ecosystems and Environment, 105(4), 635-647.

AYDIN, G., ÇULLU, M., ERŞAHİN, S., AKÇA, E., Erdogan, E., ATATANIR, L., ... and Lal, R. (2017). Mapping soil carbon: stocks in Turkey. ENCYCLOPEDIA OF SOIL SCIENCE, VOLS I-III, 3RD EDITION.

BECK, T. H. (1971). Die messung der katalaseaktivitaet von Böden. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 130(1), 68-81.

BOUYOUCOS, G. J. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy Journal*, *43*(9), 434–438.

BRADFORD, M. A., FİERER, N., and REYNOLDS, J. F. (2008). Soil carbon stocks in experimental mesocosms are dependent on the rate of labile carbon, nitrogen and phosphorus inputs to soils. *Functional Ecology*, *22*(6), 964–974.

BRONİCK, C. J., and LAL, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, *124*(1–2), 3–22.

ÇULLU, M. A., ALMACA, A., ÖZTÜRKMEN, A. R., AĞCA, N., İNCE, F., DERİCİ, R., and SEYREK, A. (2000). Harran ovası topraklarında tuzluluğun yayılma olasılığının belirlenmesi. *Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, GAP Tarımsal Araştırma-İnceleme ve Geliştirme Projesi, 4.1*.

ÇULLU, M. A., AYDEMİR, S., QADİR, M., ALMACA, A., ÖZTÜRKMEN, A. R., BİLGİC, A., and AĞCA, N. (2010). Implication of groundwater fluctuation on the seasonal salt dynamic in the harran plain, south-eastern Turkey. *Irrigation and Drainage*, *59*(4), 465–476.

ÇULLU, M. A., KILIÇ, Ş., ŞENOL, S., AĞCA, N., KURUCU, Y., AKÇA, E., ÖZCAN, H., AYDIN, G., AKSOY, E., and BİLGİLİ, A. V. (2015). Türkiye'de toprak tuzlulaşmasından etkilenen alanlar ve haritalanması. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1*, *88*(101), 12–16.

de Figueiredo, E. B., and la Scala Jr, N. (2011). Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *141*(1–2), 77–85.

DEMİRALAY, İ. (1993). Toprak fiziksel analizleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, *143*, 13–19.

DENDOOVEN, L., ALCÁNTARA-HERNÁNDEZ, R. J., VALENZUELA-ENCİNAS, C., LUNA-GUİDO, M., PEREZ-GUEVARA, F., and MARSCH, R. (2010). Dynamics of carbon and nitrogen in an extreme alkaline saline soil: a review. Soil Biology and Biochemistry, 42(6), 865-877.

DİCK, R. P., and BURNS, R. G. (2011). A brief history of soil enzymology research. *Methods of Soil Enzymology*, *9*, 1–34.

DİNÇ, U., ŞENOL, S., SAYIN, M., KAPUR, S., GÜZEL, N., DERİCİ, R., YEŞİLSOY, M. Ş., YEĞENGİL, İ., SARI, M., and KAYA, Z. (1988). Güneydoğu anadolu bölgesi toprakları.(GAT): I. *Harran Ovası, TÜBİTAK,*

Tarım Ormancılık Araştırma Grubu, Güdümlü Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, TAOG, 534.

ROME, F. A. O. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, FAO, 650 p.

GARCİA, C., HERNANDEZ, T., PASCUAL, J. A., MORENO, J. L., and ROS, M. (2000). Microbial activity in soils of SE Spain exposed to degradation and desertification processes. Strategies for their rehabilitation. *Research and Perspectives of Soil Enzymology in Spain*, 93–143.

GOU, Z., YİN, W., and CHAİ, Q. (2021). Straw and residual film management enhances crop yield and weakens CO2 emissions in wheat–maize intercropping system. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–14.

GUANGMİNG, L., XUECHEN, Z., XİUPİNG, W., HONGBO, S., JİNGSONG, Y., and XİANGPİNG, W. (2017A). Soil enzymes as indicators of saline soil fertility under various soil amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *237*, 274–279.

GUANGMİNG, L., XUECHEN, Z., XİUPİNG, W., HONGBO, S., JİNGSONG, Y., and XİANGPİNG, W. (2017B). Soil enzymes as indicators of saline soil fertility under various soil amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *237*, 274–279.

HASSANİ, A., AZAPAGİC, A., and SHOKRİ, N. (2021). Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, *12*(1), 1–17.

KHOİ, C. M., GUONG, V. T., and MERCKX, R. (2006). Predicting the release of mineral nitrogen from hypersaline pond sediments used for brine shrimp Artemia franciscana production in the Mekong Delta. Aquaculture, 257(1-4), 221-231.

LAL, R. (1995). Global soil erosion by water and carbon dynamics. *Soils and Global Change*, *131*.

LENTON, T. M., and HUNTİNGFORD, C. (2003). Global terrestrial carbon storage and uncertainties in its temperature sensitivity examined with a simple model. *Global Change Biology*, *9*(10), 1333–1352.

LOMPO, D. J., SANGARÉ, S. A. K., COMPAORÉ, E., PAPOADA SEDOGO, M., PREDOTOVA, M., SCHLECHT, E., and BUERKERT, A. (2012). Gaseous emissions of nitrogen and carbon from urban vegetable gardens in Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *175*(6), 846–853.

MARX, M.-C., KANDELER, E., WOOD, M., WERMBTER, N., and JARVİS, S. C. (2005). Exploring the enzymatic landscape: distribution and kinetics of hydrolytic enzymes in soil particle-size fractions. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(1), 35–48.

MAVİ, M. S., SANDERMAN, J., CHİTTLEBOROUGH, D. J., COX, J. W., and MARSCHNER, P. (2012). Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soils: effect of salinity, sodicity and texture. *Science of the Total Environment*, *435*, 337–344.

MBOW, H.-O. P., REİSİNGER, A., CANADELL, J., and O'BRİEN, P. (2017). Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). *Ginevra, IPCC*, *650*.

MİKUTTA, R., MİKUTTA, C., KALBİTZ, K., SCHEEL, T., KAİSER, K., and JAHN, R. (2007). Biodegradation of forest floor organic matter bound to minerals via different binding mechanisms. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *71*(10), 2569–2590.

MOİTİNHO, M. R., FERRAUDO, A. S., PANOSSO, A. R., DA SİLVA BİCALHO, E., TEİXEİRA, D. D. B., DE ANDRADE BARBOSA, M., TSAİ, S. M., BORGES, B. M. F., DE SOUZA CANNAVAN, F., and DE SOUZA, J. A. M. (2021). Effects of burned and unburned sugarcane harvesting systems on soil CO2 emission and soil physical, chemical, and microbiological attributes. *Catena*, *196*, 104903.

MOİTİNHO, M. R., TEİXEİRA, D. D. B., BİCALHO, E. DA S., PANOSSO, A. R., FERRAUDO, A. S., PEREİRA, G. T., TSAİ, S. M., and BORGES, B. M. F. (2021A). Soil CO2 emission and soil attributes associated with the microbiota of a sugarcane area in southern Brazil. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–15.

MOİTİNHO, M. R., TEİXEİRA, D. D. B., BİCALHO, E. DA S., PANOSSO, A. R., FERRAUDO, A. S., PEREİRA, G. T., TSAİ, S. M., and BORGES, B. M. F. (2021B). Soil CO2 emission and soil attributes associated with the microbiota of a sugarcane area in southern Brazil. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–15.

NELSON, P. N., and OADES, J. M. (1998). Organic matter, sodicity and soil structure. In 'Sodic soils: distribution, properties, management and environmental consequences'.(Eds ME Sumner, R Naidu) pp. 51–75.

OADES, J. M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, *76*(1), 319–337.

PATHAK, H., and RAO, D. L. N. (1998). Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil biology and biochemistry, 30(6), 695-702.

POEPLAU, C. (2019). *Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: guidelines for assessment; Version 1-Advanced copy*.

QU, Y., TANG, J., LİU, B., LYU, H., DUAN, Y., YANG, Y., WANG, S., and Lİ, Z. (2022A). Rhizosphere enzyme activities and microorganisms drive the transformation of organic and inorganic carbon in saline–alkali soil region. *Scientific Reports*, *12*(1), 1–10.

QU, Y., TANG, J., LİU, B., LYU, H., DUAN, Y., YANG, Y., WANG, S., and Lİ, Z. (2022B). Rhizosphere enzyme activities and microorganisms drive the transformation of organic and inorganic carbon in saline–alkali soil region. *Scientific Reports*, *12*(1), 1–10.

RASTOGİ, M., SİNGH, S., and PATHAK, H. (2002A). Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science*, *82*(5), 510–517.

RASTOGİ, M., SİNGH, S., and PATHAK, H. (2002B). Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science*, *82*(5), 510–517.

RATH, K. M., and ROUSK, J. (2015). Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, *81*, 108–123.

RAY, R. L., GRİFFİN, R. W., FARES, A., ELHASSAN, A., AWAL, R., WOLDESENBET, S., and RİSCH, E. (2020). Soil CO2 emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–14.

RENGASAMY, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, *57*(5), 1017–1023.

REY, A., PETSİKOS, C., JARVİS, P. G., and GRACE, J. (2005). Effect of temperature and moisture on rates of carbon mineralization in a Mediterranean oak forest soil under controlled and field conditions. *European Journal of Soil Science*, *56*(5), 589–599.

RİCHARDS, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (Vol. 78, Issue 2). LWW.

RİETZ, D. N., and HAYNES, R. J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, *35*(6), 845–854.

SALAZAR, S., SÁNCHEZ, L. E., ALVAREZ, J., VALVERDE, A., GALİNDO, P., IGUAL, J. M., PEİX, A., and SANTA-REGİNA, I. (2011). Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. *Ecological Engineering*, *37*(8), 1123–1131.

SCHİMEL, D. S., BRASWELL, B. H., HOLLAND, E. A., MCKEOWN, R., OJİMA, D. S., PAİNTER, T. H., PARTON, W. J., and TOWNSEND, A. R. (1994). Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles*, *8*(3), 279–293.

Senbayram, M., Well, R., Bol, R., Chadwick, DR, Jones, DL ve Wu, D. (2018). Saman ıslahı ve toprak NO3− içeriğinin etkileşimi, kumlu bir toprakta mantar denitrifikasyonunu ve denitrifikasyon ürün stokiyometrisini kontrol eder. Toprak Biyolojisi ve Biyokimyası , 126 , 204-212.

SETİA, R., MARSCHNER, P., BALDOCK, J., CHİTTLEBOROUGH, D., and VERMA, V. (2011). Relationships between carbon dioxide emission and soil properties in salt-affected landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(3), 667–674.

SETİA, R., RENGASAMY, P., and MARSCHNER, P. (2013). Effect of exchangeable cation concentration on sorption and desorption of dissolved organic carbon in saline soils. *Science of the Total Environment*, *465*, 226–232.

SETİA, R., SMİTH, P., MARSCHNER, P., GOTTSCHALK, P., BALDOCK, J., VERMA, V., SETİA, D., and SMİTH, J. (2012). Simulation of salinity effects on past, present, and future soil organic carbon stocks. *Environmental Science and Technology*, *46*(3), 1624–1631.

SHAOXUAN, H., ZONGSUO, L., RUİLİAN, H., YONG, W., and GUOBİN, L. (2016). Soil carbon dynamics during grass restoration on abandoned sloping cropland in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Catena*, *137*, 679–685.

SİNSABAUGH, R. L., LAUBER, C. L., WEİNTRAUB, M. N., AHMED, B., ALLİSON, S. D., CRENSHAW, C., CONTOSTA, A. R., CUSACK, D., FREY, S., and GALLO, M. E. (2008). Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters*, *11*(11), 1252–1264.

SMİTH, K. A., BALL, T., CONEN, F., DOBBİE, K. E., MASSHEDER, J., and REY, A. (2018). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, *69*(1), 10–20.

SMİTH, P., SMİTH, J. U., POWLSON, D. S., MCGİLL, W. B., ARAH, J. R. M., CHERTOV, O. G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKİNG, S., and JENKİNSON, D. S. (1997). A comparison of the performance of nine soil organic

matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, *81*(1–2), 153–225.
STEVENSON, I. L. (1959). Dehydrogenase activity in soils. *Canadian Journal of Microbiology*, *5*(2), 229–235.
SZABOLCS, I. (1989). *Salt-affected soils*.
THE JAMOVİ PROJECT. (2021). *jamovi* (2.2). https://www.jamovi.org
TROY, S. M., LAWLOR, P. G., O'FLYNN, C. J., and HEALY, M. G. (2013). Impact of biochar addition to soil on greenhouse gas emissions following pig manure application. *Soil Biology and Biochemistry*, *60*, 173–181.
TUBİELLO, F. N., CÓNDOR-GOLEC, R. D., SALVATORE, M., PİERSANTE, A., FEDERİCİ, S., FERRARA, A., ROSSİ, S., FLAMMİNİ, A., CARDENAS, P., and BİANCALANİ, R. (2015). Estimating greenhouse gas emissions in agriculture. *A Manual to Address Data Requirements for Developing Countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*.
VAN GROENİGEN, K. J., OSENBERG, C. W., and HUNGATE, B. A. (2011). Increased soil emissions of potent greenhouse gases under increased atmospheric CO2. *Nature*, *475*(7355), 214–216.
WALKLEY, A., and BLACK, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29–38.
WANG, J., WANG, X., and WANG, J. (2018). Profile distribution of CO2 in an arid saline-alkali soil with gypsum and wheat straw amendments: a two-year incubation experiment. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–10.
WONG, V. N. L., DALAL, R. C., and GREENE, R. S. B. (2008a). Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils*, *44*(7), 943–953.
WONG, V. N. L., DALAL, R. C., and GREENE, R. S. B. (2008b). Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils*, *44*(7), 943–953.
WONG, V. N. L., DALAL, R. C., and GREENE, R. S. B. (2009). Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: a laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, *41*(1), 29–40.
WONG, V. N. L., GREENE, R. S. B., DALAL, R. C., and MURPHY, B. W. (2010). Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use and Management*, *26*(1), 2–11.
WONG, V. N. L., MURPHY, B. W., KOEN, T. B., GREENE, R. S. B., and DALAL, R. C. (2008). Soil organic carbon stocks in saline and sodic landscapes. *Soil Research*, *46*(4), 378–389.
YUAN, B.-C., Lİ, Z.-Z., LİU, H., GAO, M., and ZHANG, Y.-Y. (2007). Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*, *35*(2), 319–328.
ZAK, D. R., PREGİTZER, K. S., KİNG, J. S., and HOLMES, W. E. (2000). Elevated atmospheric CO2, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. *The New Phytologist*, *147*(1), 201–222.
ZENG, W.-Z., XU, C., WU, J.-W., HUANG, J.-S., and MA, T. (2013). Effect of salinity on soil respiration and nitrogen dynamics. *Ecological Chemistry and Engineering*, *20*(3), 519.

ZHANG, B., ZHAO, X., WU, X., HAN, M., GUAN, C. H., and SONG, S. (2018). Consumption-based accounting of global anthropogenic CH4 emissions. *Earth's Future*, *6*(9), 1349–1363.

ZHANG, H.-S., ZAİ, X.-M., WU, X.-H., QİN, P., and ZHANG, W.-M. (2014). An ecological technology of coastal saline soil amelioration. *Ecological Engineering*, *67*, 80–88.